

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

Návrh elektronické výbavy experimentální dálkově řízené průzkumné miniponorky

The Design of electronic equipment of experimental remote control reconnaissance mini submarine

Bakalářská práce

Autor:

Martin Peklák

Vedoucí práce:

Ing. Miroslav Holada, Ph.D.

Konzultant:

Ing. Ondřej Hnilička

V Liberci 20. 5. 2011



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin PEKLÁK**
Osobní číslo: **M08000058**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Návrh elektronické výbavy experimentální dálkově řízené
průzkumné miniponorky**
Zadávající katedra: **Ústav informačních technologií a elektroniky**

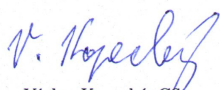
Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s problematikou dálkově řízených průzkumných miniponorek, zjistěte současný stav a významné směry v oboru.
2. Navrhněte elektronickou výbavu dálkově řízené miniponorky s ohledem na následující požadavky: řídicí počítač v ponorce bude standardní notebook s možností jeho snadné záměny, napájení elektromotorů bude z Pb akumulátorů a jejich dobíjení musí být možné i z osobního automobilu.
3. Elektronickou výbavu rozdělte do samostatných funkčních bloků (napájení, pohovy, kamerový systém, řídicí systém atd.) a pro jednotlivé bloky navrhněte a realizujte DPS.
4. Funkčnost navržené elektronické výbavy experimentálně ověřte.

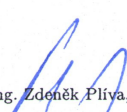


Rozsah grafických prací: Dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: cca 30-40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:
[1] Interní studijní materiály školitele
[2] books.i-techonline.com - současný stav robotiky

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Holada, Ph.D.
Ústav informačních technologií a elektroniky
Konzultant bakalářské práce: Ing. Ondřej Hnilička
Ústav informačních technologií a elektroniky
Datum zadání bakalářské práce: 1. října 2010
Termín odevzdání bakalářské práce: 20. května 2011


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Zdeněk Pliva, Ph.D.
pověřen vedením ústavu

V Liberci dne 1. října 2010



Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis



Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Miroslavu Holadovi, Ph. D. za možnost podílet se a pracovat na zajímavém tématu bakalářské práce. Dále děkuji kolegovi Miroslavu Roubíčkovi, který se mnou na tomto tématu spolupracoval. Děkuji také Danielu Puncmanovi, který má mnoho praktických zkušeností s RC modelářstvím, za odborné rady a konzultace.



Abstrakt

Návrh elektronické výbavy experimentální dálkově řízené průzkumné miniponorky

Hlavní myšlenkou této práce bylo vytvořit model ponorky umožňující pořizovat digitální videozáznam pod vodní hladinou. Ovládání ponorky bude možné ze souše pomocí libovolného ovládacího PC, propojeného s řídicím PC, umístěným v ponorce. Ponorka by měla být snadno ovladatelná a měla by být schopna dostat se pomocí precizního manévrování na libovolné místo pod vodní hladinou.

Tato práce pojednává o navrhování a realizaci elektroniky. Elektroniky byla rozdělena do samostatných systémů, kterými jsou: světla, ponořování, kamerový systém, pohonný systém a systém nabíjení. Komunikační prvek mezi koncovou elektronikou a řídicím PC zajišťuje karta INTERFACE BOARD K8055.

Ponorka byla doposud zkonstruována a všechny uvedené systémy jsou plně funkční a použitelné. Do budoucna bude možno na ponorce pracovat a vyvíjet další elektronická vylepšení.

Klíčová slova: ponorka, kamera, motor, LED, balastní komora



Abstract

The Design of electronic equipment of experimental remote control reconnaissance mini submarine

The main idea of this work is to create model of submarine, which is able to capture video in digital quality under water.

Controlling of the submarine will be from land by any PC connected to the control PC in the submarine. The submarine should be easy to control and by accurate maneuvering should be able to get to any place under water.

This document is about designing and implementation of electronics. Electronics has been divided into separate systems, these are: lights, diving, camera system, propulsion system and charging. Communication component between element electronics and the control PC provides INTERFACE BOARD K8055.

The submarine is constructed in this time and every mentioned system is fully functional and usable. It will be able to work on the submarine and develop other electronics enhancements in the future.

Keywords: submarine, camera, motor, LED, ballast chamber



Obsah

Zadání	2
Prohlášení.....	2
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Obsah	7
Seznam obrázků.....	9
Seznam značek, zkratk a termínů.....	10
Úvod.....	12
1 Teorie ponorek	13
1.1 Historie ponorek.....	13
1.2 Princip ponorky z fyzikálního pohledu	14
1.3 Druhy ponorek	15
2 Základní myšlenka ovládání	16
2.1 Karta INTREFACE BOARD K8055	17
3 Elektronická výbava průzkumné miniponorky	18
3.1 Kamerový systém.....	18
3.2 Systém světel.....	19
3.3 Systém pohonů	22
3.3.1 Řízení motorů.....	23
3.3.2 Reléový H-můstek.....	23
3.3.3 Problematika řízení motorů.....	24
3.4 Systémy ponořování.....	25
3.4.1 Ponořování miniponorky.....	25
3.4.2 Řízení čerpadla.....	26



4	Olověné akumulátory	28
4.1	Teorie nabíjení akumulátorů	28
4.2	Standardní nabíječka olověných akumulátorů	29
4.3	Autonabíječka olověných akumulátorů.....	30
4.3.1	Princip funkce autonabíječky	31
4.4	Připojení olověných akumulátorů	32
5	Vylepšení do budoucna	34
5.1	Vylepšení kamerového systému.....	34
5.2	Vylepšení pohybového systému	34
5.3	Chapadlo	35
5.4	Hloubkoměr.....	35
5.5	Hladinové čidlo	37
5.6	Detekce stavu baterie	39
5.7	Další vylepšení	41
	Závěr	42
	Citace	43
	Přílohy.....	45



Seznam obrázků

Obr. 1: Blokové schéma řízení ponorky	16
Obr. 2: Karta INTREFACE BOARD K8055	17
Obr. 3: Web kamera Genius EYE 110 [5]	18
Obr. 4: Schéma zapojení světel.....	20
Obr. 5: Blok světel – 6 led diod	20
Obr. 6: Blok světel – 24 led diod	20
Obr. 7: Bílá led dioda 5mm [7]	21
Obr. 8: Realizace pohonného motoru	22
Obr. 9: Schéma zapojení reléového H-můstku	22
Obr. 10: Realizace Reléového můstku.....	24
Obr. 11: Návrh DPS reléového můstku	24
Obr. 12: Čerpadlo ostřikovačů Škoda 120.....	26
Obr. 13: Princip zubového čerpadla	26
Obr. 14: Schéma zapojení můstku pro čerpadlo	26
Obr. 15: Schéma zapojení nabíječky akumulátorů	30
Obr. 16: Schéma zapojení autonabíječky akumulátorů	31
Obr. 17: Schéma zapojení hladinového čidla	38
Obr. 18: Schéma zapojení karty K8055.....	40
Obr. 19: Nastavení citlivosti analogových vstupů K8055	40
Obr. 20: Umístění balastní komory.....	45
Obr. 21: Elektronika ponorky	45
Obr. 22: Ponorka - pohled na před'	45
Obr. 23: Ponorka - pohled z boku.....	45



Seznam značek, zkratek a termínů

TUL	Technická univerzita v Liberci
m	Metr - základní jednotka délky
tuna	Jednotka hmotnosti - 1000 kg
uzel	Jednotka rychlost - 1,852 km/h
GPS	Global Positioning System - družicový systém pro určení polohy
WIFI	Bezdrátová komunikace v počítačových sítích
UTP	Unshielded Twisted Pair - kroucená dvoulinka pro datové přenosy
LAN	Local Area Network – označení počítačové sítě
PC	Personál Computer - označení pro osobní počítač
I/O	Input/Output - vstup/výstup
avi	Audio Video Interleave - soubory, obsahující zvukovou i obrazovou stopu
USB	Universal Serial Bus - univerzální sériová sběrnice
GND	Ground - zemní potenciál
V	Volt - jednotka elektrického napětí
A	Ampér - jednotka elektrického proudu
Ω	Ohm - jednotka elektrického odporu
PWM	Pulse Width Modulation - pulzně šířkové modulace
IEEE 1394	FireWire - standard pro připojení sériové sběrnice
Ethernet	Technologie počítačových sítí
px	Pixel - jednotka obrazového rozlišení
fps	Frames Per Second - počet snímků za jednotku času
OS	Operační systém
P-N	Polovodičový přechod P a N
cd	Kandela - jednotka svítivosti
hp	Horse power - jednotka výkonu v koňských silách
W	Watt - jednotka výkonu
DPS	Deska plošných spojů
l	Litr - jednotka objemu
bar	starší jednotka tlaku, odpovídající jedné atmosféře
Hz	Jednotka frekvence
Ah	Ampér hodina - jednotka kapacity baterií



CE	Přechod kolektor - emitor
DS	Odpor drain - source
SiO ₂	Oxid křemičitý
NPN	Typ tranzistoru
TTL	Tranzistorově Tranzistorová Logika - standard integrovaných obvodů
NTC	Negistor – typ termistoru



Úvod

Průzkumná miniponorka je nové téma bakalářské práce, jehož cílem bylo vytvořit plně funkční a ponoru schopné zařízení ovládané ze souše, které by se dokázalo pod vodní hladinou pohybovat libovolným směrem a pořizovat zde digitální videozáznam.

V dnešní době existuje několik druhů takovýchto ponorek, které jsou využívány vědci při zkoumání podmořského světa a rovněž tak i policejními i hasičskými sbory při prohledávání pod hladinou vody. Velkou výhodou je možnost nasazení miniponorky tam, kde by člověku mohlo hrozit nebezpečí nebo využití ve velkých hloubkách člověkem nedosažitelných. Ceny takových to výzkumných ponorek se na dnešním trhu pohybují řádově ve statisících korun.

Na ponorce pracovali dva studenti, kde každému byla přidělena jiná tématická část ponorky. První částí bylo navrhnout a realizovat konstrukční části ponorky. Druhá tématická část zahrnovala návrh a realizaci elektroniky v ponorce.

Tato práce pojednává o návrhu a realizaci veškeré elektroniky v ponorce. Cílem tedy bylo rozdělit elektroniku do samostatných funkčních bloků a tyto bloky navrhnout, experimentálně nebo teoreticky otestovat jejich funkci a poté je zrealizovat.

Elektroniky byla rozdělena do pěti návrhových funkčních bloků, kterými jsou kamerový systém, světelný systém, systém pohonů, systém ponořování a nabíjecí systém pro olověné akumulátory. Samostatnou částí elektroniky je karta INTERFACE BOARD K8055, která je základním modulem pro komunikaci a ovládání elektronických systémů, vyjma kamerového systému, který komunikuje přímo s řídicím PC.

Pro kreslení schémat a simulace zapojení byl použit program Multisim 8.



1 Teorie ponorek

Ponorky jsou plavidla, která mají schopnost pohybovat se pod vodou. Tento fakt sebou nese řadu aspektů, o kterých je nutné se něco dozvědět a které je nutné zohlednit k úspěšnému vytvoření ponorky.

1.1 Historie ponorek

Myšlenka sestavit plavidlo, které by bylo schopné se pohybovat pod vodní hladinou vznikla už v období antickém. Zcela jistě šlo v těchto dobách o velmi odvážnou představu, protože technické možnosti tehdejší doby byla na velmi nízké úrovni.

První „funkční“ ponorku zkonstruoval alchymista a mechanik Cornelius Drebel. Jeho pokus se konal roku 1624, kdy se s patnáctičlennou posádkou potopil a následně i vynořil. Hloubka ponoru byla ale jen pár metrů. V této době nebyl ještě vynalezen lodní šroub. Pohyb zajišťovalo 14 členů posádky, kteří pádlovali speciálně upravenými vesly. Trup ponorky byl vyroben ze dřeva, podrobnější informace se však nedochovaly.

Zajímavostí je, že realizaci ponorky se zabýval i Davis Papin, který nakonec díky ponorce vynalezl tlakový kuchyňský hrnec.

Největší uplatnění našla ponorka ve vojenství. První bojeschopná ponorka byla zkonstruována Davidem Bushnellem. Byla použita při boji o nezávislost roku 1775 proti britskému námořnictvu. Ponorka dostala jméno Turtle, což bylo odvozeno od jejího specifického tvaru. Od této doby se ponorky velmi rychle vyvíjely s pokrokem techniky[1].

V roce 1960 byla dosažena největší hloubka v historii dobývání podmořského světa. Byla sestavena ponorka Batyskaf Trieste, která byla schopna dopravit na dno Mariánského příkopu dvoučlennou posádku. Dvěma šťastlivci byli Jacques Piccard a námořník Don Walsh. Ponorka Trieste obsahovala kulovitou kabinu pro posádku, která měla 13 cm tlusté stěny. Průhled byl vytvořen z dvojité vrstvy tlustého plexiskla. V roce 1960 to byl jediný průhledný materiál, který dokázal odolat velkému tlaku vody. Nad kabinou byla umístěna plováková část, která byla naplněna benzínem. Benzín je lehčí než voda, čímž se dosáhlo potřebného vztlaku a zároveň díky nestlačitelnosti benzínu došlo k omezení možnosti rozdrčení plovákové části extrémním tlakem vody, kterému bylo plavidlo vystaveno na dně moře. Napájení ponorky bylo zajištěno



bateriovými akumulátory. Pro vynoření byly vpředu a vzadu ponorky umístěny jímky s železnými broky o hmotnosti okolo 9 tun. Jímky byly ovládány na principu elektromagnetu, ovládatelného z kabiny. Pokud protékal proud, jímky byli uzavřeny. Tento způsob zároveň fungoval jako bezpečnostní zařízení. Pokud by došlo k přerušení elektrického proudu, ponorka by sama vyplavala. Ponorka vážila na souši 13 tun. Finančně byl tento experimentální ponor nevýhodný, protože ponorka nedokázala pořizovat podmořské záběry ani odebírat vzorky dna. Nicméně bylo zjištěno, že i v tak velké hloubce existuje kyslík a tedy i život.

Další ponor do Mariánského příkopu byl realizován až v roce 2009 ponorkou Nereus. Jednalo se o spíše o ponorného robota, který neumožňoval účast posádky. Díky tomu však mohlo být dosaženo menších rozměrů a tím i celkově větších výkonů. Plášť ponorky byl vytvořen z keramických materiálů a osahoval dva trupy. energii zajišťovali síro-lithiové baterie. Pohyb v horizontálním směru byl možný rychlostí až 3 uzly. Nereus byl ovládán pomocí tenkého optického kabelu, který byl postupně odvíjen z řídicí lodi nebo mohl pracovat zcela autonomně. Hydraulické rameno mohlo fungovat i při velmi vysokých tlacích a proto bylo možné odebírat vzorky i z Mariánského příkopu.

Přesná hloubka Mariánského příkopu nebyla dosud přesně změřena. Velký problém při měření vytváří členitost dna. Mariánský Příkop leží v západní části Tichého oceánu a jedná se o dosud nejhlubší známé místo na Zemi, jehož hloubka dosahuje přes 10km [2].

Ponorky jsou v dnešní době navrhovány díky nano technologii i v mikroskopických rozměrech. Tým odborníků z Univerzity v Tel Avivu pod vedením Dr. Dana Peera pracuje právě na jedné takové nano ponorce. Ponorka by měla být schopna dopravovat na přesná místa lidského těla účinné léky, zabíjet rakovinotvorné buňky a vadné bílkoviny. Na přesná místa by ponorka byla směřována pomocí GPS lokalizace. Díky přesné aplikaci látek na chorobné buňky by nedocházelo k poškozování těch zdravých [3].

1.2 Princip ponorky z fyzikálního pohledu

Ponorka je ve své podstatě dutá nádoba, na kterou působí dvě síly a to tíhová síla F_g a vztlačová síla F_{vz} . Vztlačová síla je z hlediska ponorky závislá pouze na objemu,



takže tuto sílu nelze ovlivnit. Naproti tomu tíhová síla je závislá na hmotnosti ponorky.

Změnou této síly jsou realizovány základní funkce ponorky:

Ponoření: Tíhová síla je větší nežli vztlačková.

Vynoření: Tíhová síla je menší nežli vztlačková.

Plování: Obě síly mají stejnou velikost.

U převážného množství ponorek je změna tíhové síly, tedy změna hmotnosti ponorky realizována pomocí záplavových komor, do kterých je nasávána čerpadlem voda a zároveň je tím stlačován vzduch.

1.3 Druhy ponorek

Ponorky lze podle typu použití rozdělit na dvě skupiny:

Vojenské ponorky: Používány ve vojenství k různým vojenským účelům, a to buď mírovým nebo válečným.

Výzkumné ponorky: Pod tuto skupinu spadá nepřeberné množství ponorek od amatérských modelů v řádech tisíců korun až po vědecké ponorky za miliony korun.

Dělení podle pohonu [4]:

Ruční: Používáno u prvotních ponorek, které využívají k pohybu lidskou sílu.

Parní: Neosvědčili se z důvodu zbytkového tepla.

Diesel-elektrické: Při vynoření byl pohyb realizován pomocí dieselového agregátu.

Pod vodou pomocí akumulátorů.

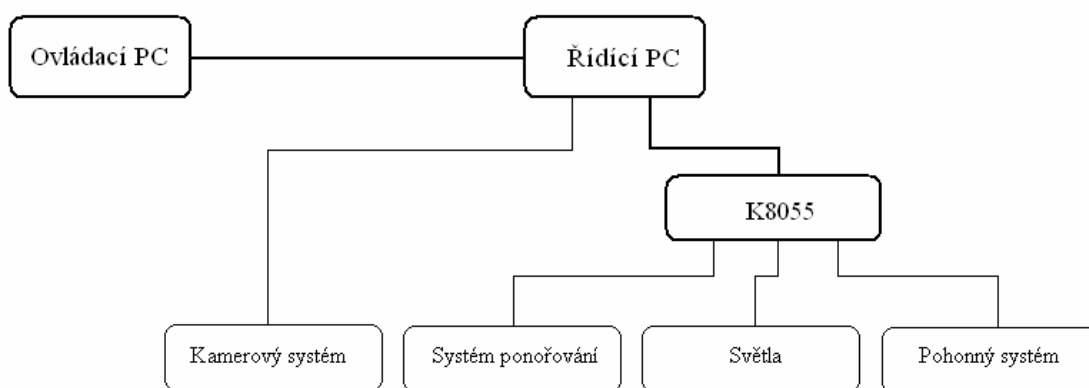
Jaderné: V dnešní době nejvyužívanější pohon s nespočetným množstvím výhod.

2 Základní myšlenka ovládání

Cílem práce bylo zajistit, aby uživatel mohl snadno ovládat ponorku ze souše. Základní myšlenka byla stanovena tak, že na souši bude mít uživatel k dispozici ovládací PC, které bude propojeno s řídicím PC, umístěným v ponorce. Pomocí ovládacího PC bude mít uživatel možnost libovolného manévrování s ponorkou a zároveň mu bude umožněn real time stream z kamery, umístěné v ponorce.

Existuje řada možností, jak propojit dvě PC. Pro bezdrátovou komunikaci se nabízel jako nejdostupnější varianta WIFI. Při testování se ukázalo, že už při 1m ponoru dochází k úplné ztrátě signálu, kdy voda pohltí vysokou frekvenci WIFI. Pro dosažení 100 % spolehlivosti komunikace bylo použito drátové spojení pomocí UTP kabelu. Tím bylo vytvořeno LAN spojení mezi řídicím a ovládacím PC, zaručující datový tok až 100 Mbit/s při maximální délce kabelu až 100 m. Přes tyto výhody má kabelové spojení i velké nevýhody. Velké množství kabelu ve vodě mění hmotnost ponorky, kabel ovlivňuje manévrování a tím částečně omezuje ponorku ve svobodném pohybu. Dále existuje riziko zachycení nebo poškození kabelu.

Pomocí LAN spojení je ovládacím PC ovládána vzdálená plocha řídicího PC. Veškeré ovládací procesy jsou tedy spuštěny v řídicím PC. Nejdůležitějším komponentem je ovládací program ponorky, pomocí kterého jsou ovládány I/O karty K8055. Tento program umožní uživateli libovolné nastavení kláves pro manévrování, pwm modulaci čerpadla resp. rychlost napouštění balastní komory, spínání světel a ukládání streamovaného videa na disk řídicího PC za libovolné kvality komprese ve formátu avi.



Obr. 1: Blokové schéma řízení ponorky

2.1 Karta INTREFACE BOARD K8055

Tato karta zajišťuje ovládání veškeré elektroniky v ponorce mimo kamerového systému. Karta je připojena do řídicího PC pomocí USB rozhraní. Pomocí řídicího PC a ovládacího software jsme schopni ovládat libovolné vstupy a výstupy karty.

Dosud byly využity pouze digitálně spínané výstupy, kde dva výstupy zajišťují ovládání můstku čerpadla, čtyři výstupy ovládají motorové pohony a jeden výstup ovládá systém osvětlení. Digitální a analogové vstupy najdou své uplatnění především do budoucna, kde pomocí nich bude možné připojovat různé senzorické systémy.



Obr. 2: Karta INTREFACE BOARD K8055

Použitím karty K8055 máme k dispozici:

5 digitálních vstupů [0 = GND (kostra), 1 = otevřený kontakt], testovací tlačítka na desce s tištěnými spoji.

2 analogové vstupy s možností tlumení a zesílení (interní test + 5 V).

8 digitálních spínacích výstupů s otevřeným kolektorem (max. 50 V / 200 mA).
Indikace pomocí LED diod na desce s tištěnými spoji.

2 analogové výstupy:

- 0 až 5 V, výstupní odpor 1,5 k Ω
- Modulace šířkou impulsů (PWM) 0 až 100 % - výstup s otevřeným kolektorem
- Max. 100 mA / 40 V

3 Elektronická výbava průzkumné miniponorky

3.1 Kamerový systém

Nedílnou součástí průzkumných ponorek je kamerový systém, s jehož pomocí jsme schopni získávat vizuální informace pod vodní hladinou. Požadavkem tedy bylo zajistit možnost pořizování fotografií a video záběrů pod vodní hladinou.

Kamer existuje nepřeberné množství, a to jak z hlediska kvality, tak i vlastností pořizovaných záběrů. Zde tedy platí jednoduché pravidlo. Čím lepší kamera, tím vyšší pořizovací náklady. Dalším důležitým parametrem kamer je rozhraní. Existuje několik typů: USB, IEEE 1394, Ethernet, GigE vision, Kamera link. Vzhledem k hardware řídicího notebooku bylo možné si vybrat mezi Ethernet a USB.

Byla zvolena USB Web kamera Genius EYE 110. Tato kamera byla umístěna v předním kokpitu ponorky tak, že vidí před sebe s mírným sklopením dolů. Tato poloha byla zvolena po několika pokusných ponorech z důvodů přexponování záběrů slunečním světlem. Mechanické ostření bylo nastaveno adekvátně k viditelnosti pod vodní hladinou, tedy ostrost v rozmezí 10 cm až 110 cm od čočky.



Obr. 3: Web kamera Genius EYE 110 [5]



Parametry kamery:

Typ snímacího prvku – 100 000 px CMOS Image Sensor

Rozhraní USB 2.0 Full Speed , kompatibilní s USB1.1/1.0

Tlačítko pro pořízení statického obrázku

Formát souborů JPEG/AVI

Fotografie až 1280 x 960 px

Video rozlišení 352 x 288 px / až 30fps, 640 x 480 pix / až 15fps

Podporuje OS Windows Vista, XP, 2000, Me, 98SE

Otočná v úhlu 360 stupňů manuálně

Manuální ostření

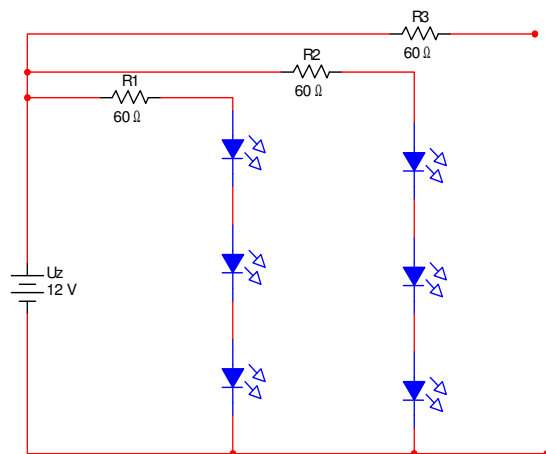
3.2 Systém světél

Ať už jsme v oblasti robotiky, elektroniky nebo filmů, patří osvětlení scény k nejdůležitějším faktorům pro pořízení kvalitního záběru. Principiálně se jedná o to, aby bylo od nahrávaného nebo fotografovaného předmětu odraženo co nejvíce světelných paprsků do objektivu kamery.

Existuje několik typů osvětlení. Většina výkonných světél funguje na principu průchodu proudu vodičem, který se tímto zahřívá a vydává světelnou energii. Pro miniponorku jsou takové typy světél neekonomické z důvodu omezené kapacity elektrické energie v bateriích. Proto bylo zvoleno jako nejlepší řešení osvětlení pomocí Led diod.

Led dioda je polovodičová součástka, obsahující P-N přechod. Při průchodu proudu v propustném směru začne P-N přechod vyzařovat nekoherentní světlo s úzkým spektrem. Spektrum je závislé především na chemickém složení P-N přechodu. V dnešní době je trendem používat Led diody s bílým světlem. Bílé světlo jako takové není možné emitovat přímo na P-N přechodu. Proto se používají luminofory, pomocí kterých lze několika způsoby transformovat realizovatelné spektrum na spektrum bílé barvy [6].

Pro osvětlení scény před ponorkou byly použity bílé led diody. Vzhledem k jejich vlastní spotřebě je to řešení výhodné.

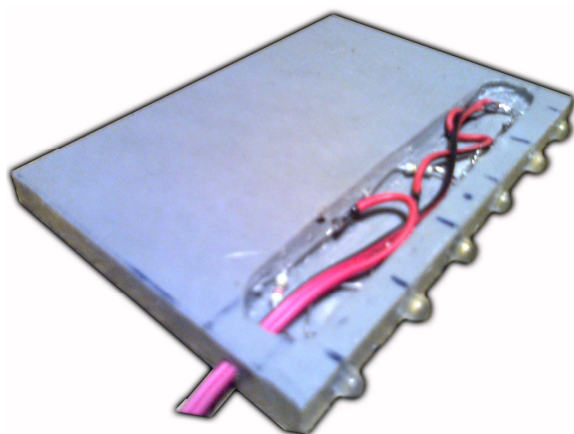


Obr. 4: Schéma zapojení světel

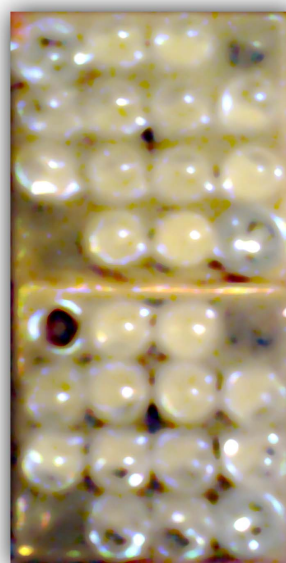
$$R = \frac{U_Z - (U_{D1} + U_{D2} + U_{D3})}{I_D} \quad (1)$$

Kde R je odpor pro sériovou kombinaci diod
 U_{DX} je úbytek napětí na jednotlivých diodách
 I_D je proud, tekoucí jednotlivými větvemi

Ze schématu zapojení je patrné, že se jedná o trojice sériově zapojených diod. Tyto trojice jsou zapojeny paralelně k napájení a každá obsahuje příslušný odpor. Tento odpor se dá vypočítat ze vztahu (1). Ze všech paralelních větví byly spojeny zemní vodiče a tím byla vytvořena jedna společná zem. Tato zem je přivedena do digitálně spínaného výstupu karty K8055, pomocí které je možné všechny led diody ovládat.



Obr. 5: Blok světel – 6 led diod



Obr. 6: Blok světel – 24 led diod

Jako první byl vytvořen segment, obsahující 6 led diod (Obr. 5). Pro tento segment vzhledem ke konstrukčnímu provedení nebylo možné vytvořit DPS, proto byli jednotlivé diody zapojeny pomocí měděných kabelů.

Při testování se ukázalo 6 led diod jako nedostačující zdroj kvalitního osvětlení. Byl vytvořen druhý segment, který obsahuje 24 bílých led diod (Obr. 6). Pro tento segment byly použity dva malé DPS, kde každý obsahoval 12 led diod.



Obr. 7: Bílá led dioda 5mm [7]

Parametry led:

velikost čočky: 5 mm - čirá

barva: bílá

vlnová délka: 465 – 470 nm

jmenovité napětí: 3,6 V

svítivost: 15 000 mcd

úhel vyzařování: 25°

maximální proud: 20 mA

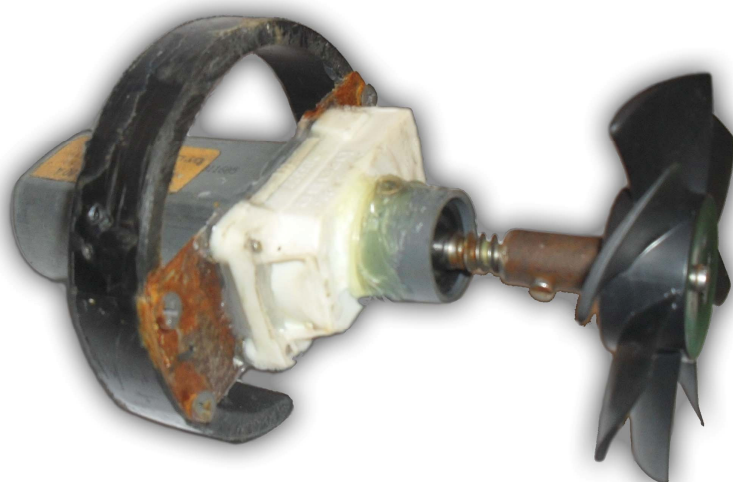
3.3 Systém pohonů

Motor je zařízení, které vytváří rotační nebo posuvný pohyb. V našem případě bylo vhodné zajistit motory s rotačním pohybem na elektrickou energii.

Konstrukčně byl pohyb ponorky navržen tak, že motory budou zajišťovat pouze horizontální pohyb. Existují dvě základní varianty, jak by se dal horizontální pohyb zrealizovat. První variantou je jeden centrální motor, kde směr pohybu by zajišťovalo kormidlo. Druhý způsob by se dal přirovnat k pohybu pásového vozidla, třeba tanku, kde pásy zastupují 2 rovnoběžně umístěné motory po bocích ponorky.

Jako výhodnější a méně náročný způsob na realizaci byla zvolena varianta dvou motorů. Prvotně byly použity krokové motory z boxového chladiče Intel. Nevýhodou těchto motorů je fakt, že se mohou točit pouze na jednu stranu. Proto by bylo nutno použít čtyři takovéto motory. Praktická realizace a testování ukázaly, že tyto motory nejsou schopny zajistit horizontální pohyb vzhledem k jejich výkonu vůči váze ponorky.

Pro spolehlivý pohon ponorky bylo nutné zajistit výkonnější motory. Byly použity motory od elektrického stahování bočních oken z automobilu Peugeot 607. Jedná se pomaloběžné výkonné motory na 12 V, jejichž proudový odběr se pohybuje mezi 6-12 A v závislosti na zatížení. Na tyto motory mohla být vzhledem k jejich výkonu připevněna vrtule z boxového chladiče Intel, která má průměr 7,5cm a obsahuje 7 listů. Dvojice těchto motorů má příkon okolo 0,2 kW dle vztahu $P_m = 2 * U * I$. Teoretický výkon pohonů by tedy mohl být až 0,26 hp při stoprocentní účinnosti motoru s vrtulí.

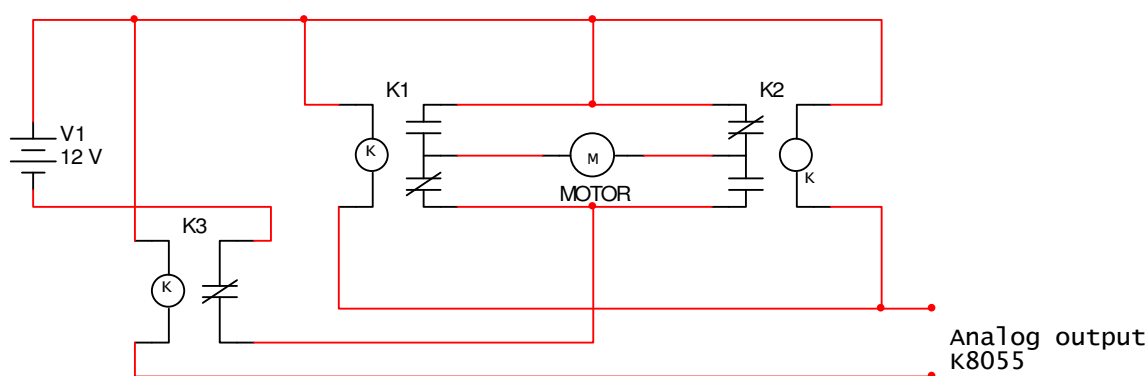


Obr. 8: Realizace pohonného motoru

3.3.1 Řízení motorů

Požadavkem na pohonný systém bylo zajistit chod motorů oběma směry, aby bylo možné s ponorkou libovolně manévrovat v horizontálním směru. Vzhledem k tomu, že proudový odběr motorů se pohybuje mezi 6 A až 12 A, bylo technicky náročné zrealizovat klasický tranzistorový H-můstek. Byla použita netypická varianta, kterou je Reléový H-můstek (Obr. 9, Obr. 10).

3.3.2 Reléový H-můstek

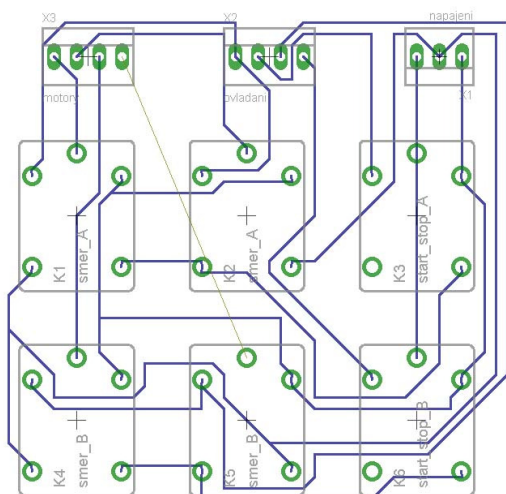


Obr. 9: Schéma zapojení reléového H-můstku

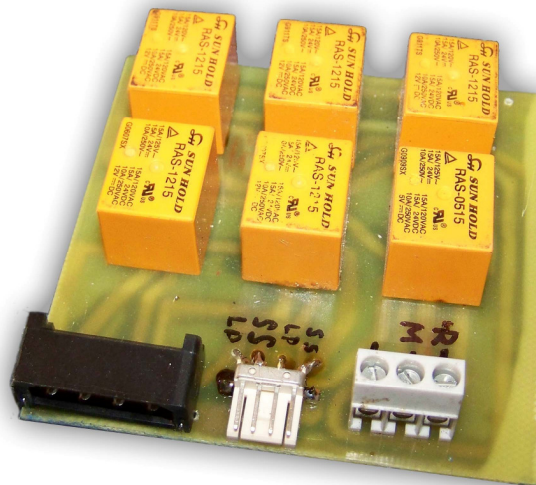
Reléový H-můstek funguje na podobném principu, jako tranzistorový H-můstek. Schéma zapojení viz. Obr. 9. Přepínací relé K1 a K2 zajišťuje změnu polarity napětí na motoru. Ovládání relé K1 a K2 je realizováno pomocí jednoho společného analogového výstupu karty K8055. Kontakt K3 zajišťuje uzemnění motoru, je ovládán pomocí druhého analogového výstupu karty K8055 a má tedy funkci start, stop.

Tento reléový H-můstek má výhodu, že nemůže dojít ke zkratování napájení, jako tomu je u tranzistorového H-můstku a proto není třeba použít ochranné diody. Nevýhodou tohoto můstku je, že neumožňuje použít pro motory PWM modulaci a tak řídit rychlost otáček motorů, protože se jedná o mechanické přepínače. Tento fakt je ale zanedbatelný, protože při plných otáčkách motorů se ponorka pohybuje ideální rychlostí a uživatel má možnost regulovat rychlost pohybu přerušovaným spínáním motorů.

DPS reléového můstku byl navrhnut v programu Eagle viz Obr. 10. Poté byl návrh ručně překreslen speciální fixou na kuprexitu a následně vyleptán pomocí roztoku kyseliny chlorovodíkové a tříprocentního peroxidu vodíku.



Obr. 10: Realizace Reléového můstku



Obr. 11: Návrh DPS reléového můstku

3.3.3 Problematika řízení motorů

Reléový H-můstek byl realizován pro dva motory na jednu DPS. Při praktickém testování se ukázalo, že použitý kuprexit se standardní tloušťkou mědi 35μm a průměrnou šířkou cestiček 1,5 mm nesplnil potřebnou proudovou hustotu J . Při testování ponorky došlo k přepálení jedné společné cesty pro oba motory na DPS. Maximální proudová zatížitelnost mědi je 850 A/mm². Pokud dosáhneme této hodnoty, dojde k přepálení. Z toho lze vypočítat ze vztahu (3), že v době přepálení odebíral každý motor zhruba 22 A.

Jako dočasné řešení lze použít pocínování cestiček DPS silnou vrstvou cínu. Do budoucna by však bylo dobré opatřit obvod proudovým omezením nebo proudovým stabilizátorem.

$$I = J * S = 850 * (0,035 * 1,5) = 44,6A \quad (2)$$

kde I je proud, odebíraný oběma motory
 J je proudová hustota mědi
 S je průřez měděné cesty

3.4 Systémy ponořování

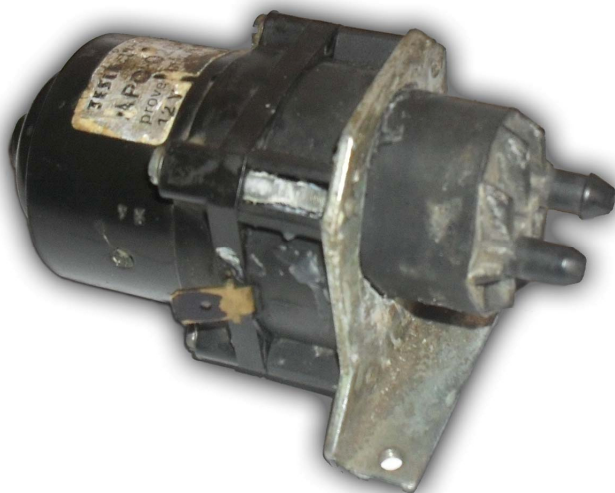
Existuje několik možností, jak se ponorky mohou potápět. Prvotní myšlenka směřovala k systému, kde ponorka bude absolutně vyvážená a bude se ve vodě vznášet (plovat). Ponoření a vynoření by bylo realizováno pomocí vertikálního obousměrného motoru s vrtulí. Tento princip má spoustu nevýhod. Je třeba dokonale vyvážit ponorku aby dokonale plovla, což nelze provést univerzálně, protože každá voda má jinou hustotu.

Druhá varianta ponořování ponorky funguje na principu změny hmotnosti. V tomto případě musí být ponorka vybavena balastní komorou, do které se přičerpává voda a tím se mění hmotnost ponorky. Jako další varianta by bylo možné předchozí možnosti zkombinovat, tedy pomocí balastní komory nastavit hmotnost ponorky tak, aby v daném prostředí plovla a následně zajistit vertikální pohyb motorem.

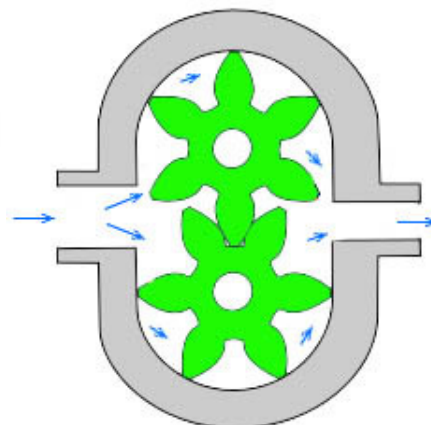
Ponořování lze také rozdělit na statické a dynamické. Při statickém ponořování může ponorka klesat vertikálním směrem bez dalšího pohybu. Dynamické ponořování umožňuje náklon ponorky vzhledem k horizontální ose a pomocí pohonů pohyb pod tímto úhlem. Lze toho dosáhnout pomocí dvou balastních komor, umístěných na přídí a na zádí, nebo pomocí systému kormidel. U velkých ponorek se využívá kombinace statického a dynamického ponořování. Realizace je však velmi náročná, stejně jako řízení takového systému.

3.4.1 Ponořování miniponorky

Jako nejvhodnější varianta ponořování u miniponorky byl zvolen systém statický. Výběrovým kritériem byla především jednoduchost s ohledem na omezený prostor uvnitř korpusu. Byla vyrobena tlaková balastní komora o objemu 2,5 l, která byla umístěna do těžiště ponorky. Komora je hermeticky uzavřena a proto nemůže dojít k zatopení ponorky. Pro transport vody do komory bylo použito zubové čerpadlo ostřikovače z vozu Škoda 120 viz Obr. 12. Toto čerpadlo má průtok až 1,6 l/min a umí vytvořit tlak až 3,7 bar. Jedná se o obousměrné čerpadlo bez zpětného ventilu, které bez dodávání elektrické energie propouští větší tlaky. Princip čerpadla je znázorněn na obrázku č. 13. Rotací zubových kol dochází k nasávání kapaliny, která je zuby přepravována na výstup čerpadla. V místě dotyku zubových kol by neměla kapalina prosakovat [8].



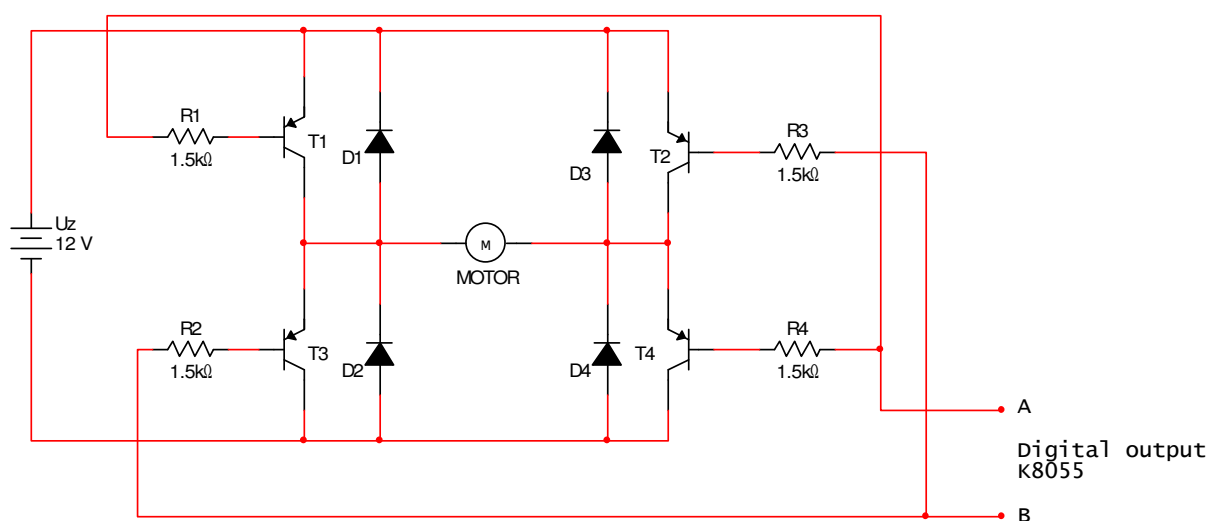
Obr. 12: Čerpadlo ošťikovačů Škoda 120



Obr. 13: Princip zubového čerpadla

3.4.2 Řízení čerpadla

Pro splnění požadavku napouštění a vypouštění balastní komory, bylo třeba zajistit obousměrný chod čerpadla. Vzhledem k proudovému odběru čerpadla do 2 A nebyl problém vytvořit tranzistorový H-můstek, pomocí kterého jsme schopni měnit polaritu napájení na čerpadle.



Obr. 14: Schéma zapojení můstku pro čerpadlo



H-můstek je vybaven čtyřmi tranzistory Tesla KD366 typu PNP. Tranzistory jsou typicky zapojeny do tvaru písmene H. Báze tranzistory T1 a T4 jsou současně ovládány analogovým výstupem A karty K8055. T2 a T4 jsou ovládány výstupem B. Je třeba zajistit, aby nedošlo k současné aktivaci výstupů A i B. Tento problém je řešen v ovládacím programu ponorky. Po odpojení napájení od motorů mohou vzniknout velká přepětí indukcí na vinutí motoru. Tento problém řeší zapojení Diod D1 až D4.

Pro dosažení přesného požadovaného množství vody je dále softwarově zajištěna PWM modulace motoru čerpadla.

4 Olověné akumulátory

Jedná se o akumulátory, které obsahují olověné elektrody, ponořené do zředěné kyseliny sírové. Dvě takové olověné elektrody vytvářejí jeden článek akumulátoru. Řazením těchto článků do série můžeme dosáhnout požadovaného výstupního napětí. Jeden článek zpravidla tvoří rozdíl potenciálu 2 V.

Pro napájení ponorky byly použity bezúdržbové akumulátory. Jedná se o hermeticky uzavřené akumulátory, které nepotřebují údržbu po celou dobu životního cyklu. Výhodou těchto akumulátorů je, že mohou být používány v jakékoli poloze a nehrozí únik elektrolytu.

V dnešní době technologie výroby bezúdržbových akumulátorů velmi postoupila. Díky Lepším materiálům a technologii výroby lze vyrábět mnohem menší baterie s vysokým výkonem a nižší hmotností.

Olověné akumulátory jsou v dnešní době velkým trendem. Používají se zpravidla jako sekundární zdroje elektrické energie nebo jako primární zdroj energie pro přenosnou elektroniku [9].

4.1 Teorie nabíjení akumulátorů

Správně zvolený způsob nabíjení akumulátoru je důležitý pro dosažení co nejdelší životnosti a kvalitního nabití baterie. Pokud bychom baterii nabíjely špatným způsobem, dojde k nevratným chemickým změnám, které sníží kapacitu baterie.

Pro 12 V akumulátor by mělo být nabíjecí napětí o 2,4 V vyšší. Při této hodnotě nastává nejlepší chemická reakce. Dojde k vysoké tvorbě vodíku a kyslíku. Existují dva základní principy nabíjení akumulátorů.

První varianta je nabíjení konstantním proudem. Je používáno v případech, kdy známe hloubku vybití z předchozího vybíjení. Můžeme tím přesněji určit nabíjecí čas baterie. Jak už z názvu plyne, jedná se tedy o nabíjení konstantním proudem. Je třeba zajistit zdroj se stabilizací proudu a zároveň je nutné sledovat nabíjecí napětí, aby nebyl akumulátor přebíjen a tím snižována jeho kapacita.

Druhou variantou je nabíjení konstantním napětím. Je tedy třeba zajistit stabilizovaný zdroj napětí a zároveň omezení proudu ze zdroje, protože by opět mohlo dojít k poškození akumulátoru. Tato varianta zahrnuje další dvě možnosti. Akumulátor můžeme nabíjet trvale nebo podle potřeby. Rozdíl těchto variant je v nabíjecím napětí,

kde pro trvalé nabíjení 12 V akumulátoru je použito nabíjecí napětí 13,6 V a pro nabíjení dle potřeby napětí 14,4 V [9].

4.2 Standardní nabíječka olověných akumulátorů

Pokud pomineme fakt, že nabíječka nedokáže pracovat se vstupním napětím nižším než 15 V, jedná se ideální a elegantní řešení nabíjení olověných akumulátorů.

Nabíječka vytváří požadované napětí, které je střídavě přepínáno dle uživatelem nastavené frekvence mezi oběma akumulátory. Tím dosáhneme současného nabíjení obou akumulátorů bez rizika, že by se akumulátory vzájemně ovlivnily.

Základem celého obvodu je stabilizátor napětí TL7812. Stabilizační napětí tohoto stabilizátoru je 12 V. Požadovaných 14,5 V nabíjecího napětí je dosaženo pomocí tří křemíkových diod D1, D2 a D3 typu 1N4007, zapojených v závěrném směru do země. Úbytek napětí na jedné diodě je 0,8 V, takže pomocí tří diod dostáváme napětí 2,4 V, o které se nám zvýší výstupní napětí.

Další část obvodu tvoří standardní zapojení proslulého obvodu 555 jako Astabilní klopný obvod. Kondenzátor C2 je nabíjen přes odpor R1 a trimr TR2. Jakmile dojde k nabití kondenzátoru na 2/3 napájecího napětí, obvod se překlápí a otevře se vybíjecí tranzistor, přes který se začne kondenzátor vybíjet. Po poklesu pod 1/3 napájecího napětí se obvod opět překlápí. Tento cyklus se opakuje, dokud je připojeno napájecí napětí.

Výstupem Astabilního klopného obvodu je napájeno přepínací relé K1, které přepíná nabíjecí napětí mezi dvěma výstupy. Výstupní napětí je chráněno opět křemíkovou diodou D4 typu 1N4007 proti přepólování akumulátorů.

Uživatel má možnost pomocí trimru nastavit požadovanou frekvenci přepínání mezi výstupy nabíječky pomocí trimru TR2. Tím lze dosáhnout frekvence od 14 Hz do 0,66 Hz dle vztahu (4).

$$f = \frac{1,4}{C2 * (R1 + 2 * TR2)} \quad (3)$$

kde f je frekvence přepínání nabíječky

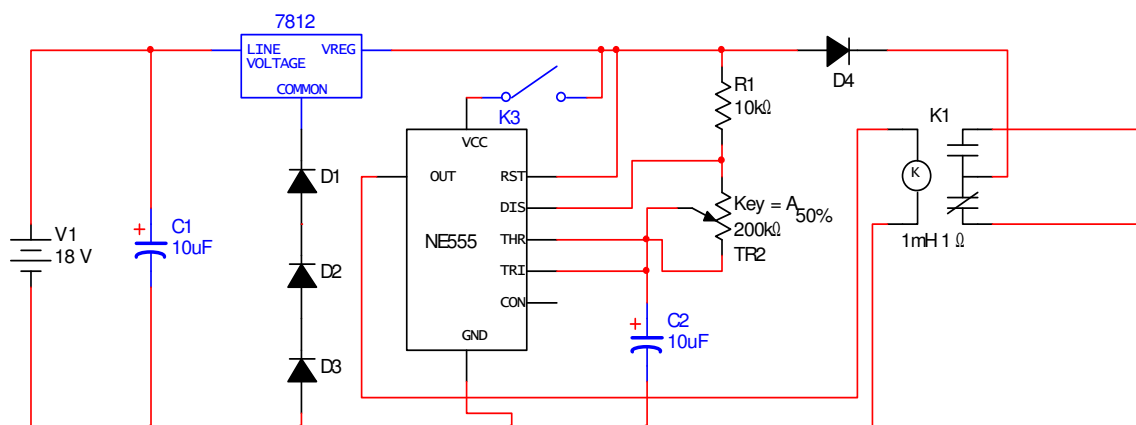
$R1$ je velikost odporu $R1$

$TR2$ je velikost odporu potenciometru

$C2$ je kapacita kondenzátoru $C2$

Nabíječka je vybavena přepínačem, který odpojuje napájecí napětí od astabilního klopného obvodu a tak umožňuje uživateli využít cyklované nabíjení nebo nabíjení pouze jedné baterie bez přepínání výstupů [10].

Testováním bylo zjištěno, že nabíječku lze napájet napětím v rozmezí 15V-30V.

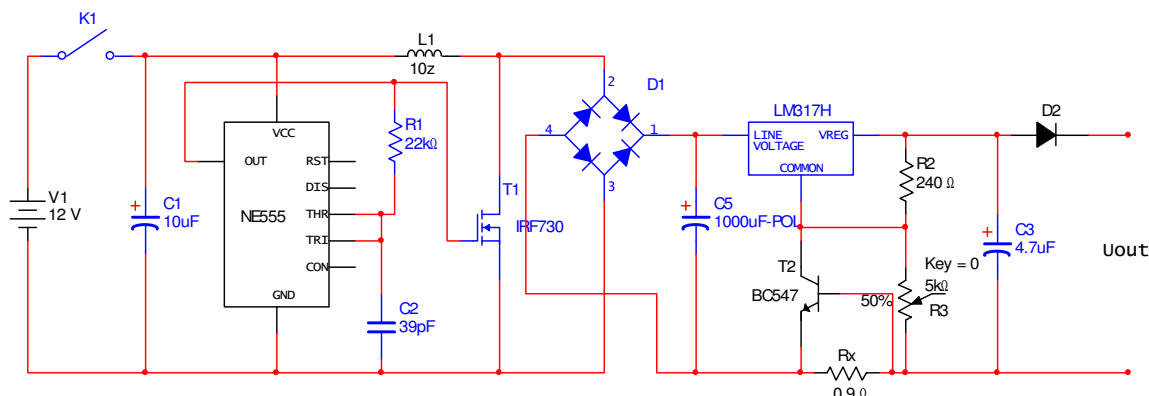


Obr. 15: Schéma zapojení nabíječky akumulátorů

4.3 Autonabíječka olověných akumulátorů

Požadavkem bylo zajistit, aby mohli být olověné akumulátory dobíjeny autobaterií. Ideální nabíjecí napětí pro akumulátory je 14,4 V, ale napětí autobaterie je pouze 12 V. Tato skutečnost vyžadovala navrhnout takový obvod, který dokáže jmenovité napětí autobaterie účinně transformovat na nabíjecí napětí olověných akumulátorů.

Pro bezúdržbové akumulátory je nejvhodnější použít nabíjení konstantním napětím s omezením proudu. Napětí použitých akumulátorů je 12 V, proto by nabíječka měla mít výstupní napětí 14,4 V pro optimální nabíjení. Nabíjecí proud může být různý, obvyčejné autonabíječky neobsahují dokonce žádné proudové omezení a baterie jsou nabíjeny velkými proudy, což pro baterie není vhodné. Nejčastěji se používá pravidlo, kdy baterii nabíjíme proudem o velikost desetiny kapacity baterie. Použité baterie mají kapacitu 7,2 Ah, tedy nabíjecí proud by měl být stabilizován na hodnotě 720 mA.



Obr. 16: Schéma zapojení autonabíječky akumulátorů

4.3.1 Princip funkce autonabíječky

Obvod funguje na principu spínaného zdroje viz obr. 16. Pomocí oscilačního obvodu je buzen výkonový tranzistor, který uzemňuje primární cívku transformátoru nebo samostatnou cívku. Dříve nemohl být tento princip realizován, protože bipolární tranzistory by v tomto zapojení shořely. S příchodem unipolárních tranzistorů se naskytly nové možnosti využití těchto tranzistorů a jednou z nich je právě možnost realizace spínaných zdrojů. Nevýhodou bipolárních tranzistorů je především fakt, že spínání báze je nutné provádět proudově a další nevýhodou byl velký odpor na přechodu CE. Tento fakt zahrnoval úbytek napětí na CE a při spínání velkých proudů docházelo k výkonovým ztrátám na tranzistoru. Unipolární tranzistory typu MOSFET mají v dnešní době odpor DS řádově jednotky $m\Omega$. Jedná se tranzistory řízené polem. Řídící elektroda je izolována od řízeného obvodu vrstvičkou SiO_2 . Vstupní odpor řídící elektrody je teoreticky nekonečně velký a proud tekoucí do řídící elektrody je nekonečně malý.

Hlavním prvkem oscilační části nabíječky je integrovaný obvod NE555, zapojený jako oscilátor. Jde o netypické zapojení Schmittova klopného obvodu tak, že jeho výstup je zapojen na vstupní komparátory pinů THR a TRI. Pokud napětí na výstupu přesáhne $2/3$ napájecího napětí, obvod se překlápí a na jeho výstupu bude logická nula, což způsobí pokles napětí pod $1/3$ napájecího napětí a obvod se opět překlápí a na výstupu je logická jednička. Tento děj se neustále opakuje, čímž dostáváme oscilátor o frekvenci několik stovek kHz. Pomocí tohoto signálu je buzen výkonový tranzistor IRF730 třídy E typu MOSFET, který uzemňuje záporný pól cívky. Na cívce se tímto dějem začne indukovat napětí vyšší oproti napájecímu. Toto

vysokofrekvenční napětí je usměrněno pomocí Gretzova můstku a vyhlazeno kondenzátorem C5. Počet závitů cívky byl zvolen experimentálně tak, aby na výstupu Gretzova můstku bylo napětí okolo 30 V [11].

Druhou část nabíječky tvoří stabilizační obvod, realizovaný pomocí napěťového stabilizátoru LM317. Výstupní napětí nabíječky je možné nastavit viz. vzorec (5) pomocí napěťového děliče, realizovaného odporem R2 a potenciometrem R3. Proudové omezení je realizováno pomocí NPN BC547 bipolárního tranzistoru T2 a odporu Rx. Chceme tedy omezit nabíjecí proud na hodnotu 720 mA. Pokud by nabíjecí proud překročil tuto hodnotu, tranzistor T2 by se měl otevřít a zkratovat potenciometr R3, čímž klesne nabíjecí napětí a s ním i proud. Toho lze dosáhnout pomocí vhodně zvoleného odporu Rx dle vztahu (4). Odpor je nutné nastavit tak, že pokud jím poteče maximální nabíjecí proud, tedy 720 mA, musí být na tomto odporu napětí 0,65 V. Toto napětí lze označit jako U_{BE} a při hodnotě 0,65 V otevře tranzistor.

Nabíječka je na výstupu opatřena diodou D2, která zajistí ochranu proti přepólování baterie [12].

Funkce nabíječky byla experimentálně ověřena na nepájivém poli.

$$R_x = \frac{U_{BE}}{I_{\max}} = \frac{0,65}{0,72} = 0,9\Omega \quad (4)$$

kde U_{BE} je napětí na přechodu BE

I_{\max} je maximální proud nabíjení

R_x je hodnota nastavovacího rezistoru R_x

$$U_{out} = U_{ref} * \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) + I_{ADJ} * R_3 \quad (5)$$

kde U_{out} je výstupní napětí nabíječky

U_{ref} je referenční napětí odporového děliče

I_{ADJ} proud, tekoucí common elektrodou

4.4 Připojení olověných akumulátorů

Existují 2 varianty zapojení baterií v miniponorce.

První varianta je zapojení baterií paralelní kombinací, z které by se pak paralelně rozvádělo napětí pro jednotlivé komponenty miniponorky. Toto zapojení má však



značnou nevýhodou. Po nabití obou baterií na plnou hodnotu bylo zjištěno, že mají rozdílný potenciál napětí. To by zapříčinilo, že by se potenciály navzájem vyrovnávali a tím by docházelo k částečnému vybíjení jedné baterie. Další problematikou paralelního spojení baterií je fakt, že při odpojování motorů vznikají velké napěťové špičky, které se naindukují na vinutí motoru a mohou poškodit citlivou elektroniku.

Při testování bylo zjištěno, že v extrémních podmínkách při velkých zatíženích motorů ani plně nabitá baterie nedokáže udržet jmenovité napětí, takže za předpokladu eliminace napěťových špiček by docházelo k nestabilitě a vypínání řídicího PC, které potřebuje stálé jmenovité napětí nabité baterie.

Jako druhá varianta, která nakonec připadala více v úvahu se nabízelo přidělit každé baterii jinou zátěž. V tomto případě nedochází ke vzájemnému vybíjení baterií. Na jednu baterii připojíme zátěže indukčního charakteru, tedy pohonné motory a čerpadlo balastní komory. Druhá baterie napájí led osvětlení, řídicí PC a tím i kamerový systém. Baterie musí mít společný zemní vodič kvůli digitálně spínaným analogovým výstupům karty K8055, které mají uzemňující charakter spínání. Touto variantou eliminujeme nebezpečí napěťových špiček, nicméně tato má také své nevýhody. Baterie jsou vybíjeny nezávisle a tedy k vybití každé z baterií dochází v jiném čase. V takovém případě musí dojít k vynoření i za předpokladu, že jedna z baterií je stále nevybitá.

5 Vylepšení do budoucna

Ponorka byla vytvářena od počátku s ohledem na prioritu funkcí, tedy nejprve byl vytvořen korpus odpovídající tvaru, do kterého by se dal snadno umístit standardní notebook a 2 olověné akumulátory. Dále bylo nutné zajistit funkci horizontálního a vertikálního pohybu. Nakonec byl navržen a vytvořen kamerový systém a s ním spjatý systém osvětlení. Tyto věci jako celek tvoří funkční ponorku, nicméně pro lepší funkci, ovladatelnost a výkonnost ponorky by bylo dobré do budoucna přidat řadu vylepšení, které by ponorku po technologické stránce posunuli o příčku výše.

5.1 Vylepšení kamerového systému

Pro kamerový systém byla použita webkamera Genius EYE 110. Pro prvotní testování svou funkci splňovala dostatečně. Časem se však projevil hlavní nedostatek kamery. EYE 110 postrádá jakékoli automatické ostření. Při slunečných dnech byli tedy veškeré snímky a záběry přexponovány. Tento problém lze vyřešit instalací jiné kamery, která obsahuje automatické ostření a především redukcí světla regulací délky expozice. S takovou kamerou by bylo možné pořizovat mnohem lepší záběry. Dnes je na trhu velké množství kamer pracujících přes rozhraní USB., které obsahují automatické režimy. Do budoucna je plánována konkrétně webkamera Genius VideoCam eFace 2050AF, která poskytuje automatické zaostřování, snímky o rozlišení 2Mpx a digitální záznam o rozlišení 1,3Mpx při 20fps [13].

Prozatímnní umístění kamery je takové, že kamera vidí z přidi před sebe. To obnáší jistou problematiku, pokud chceme snímat dno. Tento problém lze snadno vyřešit instalací druhé kamery, která by směřovala vertikálně dolů a umožňovala tedy snímat dno.

5.2 Vylepšení pohybového systému

Pro horizontální pohyb byli použity motory z boxového chladiče Intel, které otáčejí vrtulí. Tato vrtule je však určena pro aerotechniku, nikoli pro hydrotechniku. Další nevýhodou použité vrtule je, že je koncipována pro jednosměrný krokový motor a tomu jsou i přizpůsobeny listy vrtule. Tedy pro každý směr otáčení má vrtule rozdílnou účinnost. Bylo by vhodné použít klasický modelářský lodní šroub, který se od vrtule

z ventilátoru odlišuje především menším počtem listů, nejčastěji 2 až 3, které mají mnohem větší stoupání a účinnost na obě strany je srovnatelná.

5.3 Chapadlo

Dnešním trendem většiny výzkumných a vědeckých ponorek je schopnost odebírat vzorky z vodního dna. Jedná se o nesnadný úkol, kdy je třeba zajistit funkci robotnického chapadla zcela pod vodou. Zde je třeba brát v úvahu vodu jako rušivý element, který způsobí korozi pohyblivých částí chapadla. Proto by bylo vhodné použít nekorodující materiály, jako jsou například plasty. Dále je třeba stanovit, jaký druh pohonu bude funkci chapadla realizovat. V robotice se používají 3 základní druhy pohonu, kterými jsou elektrický pohon, pneumatický a hydraulický pohon. Jako nejlepší řešení s ohledem na náročnost, velikost a dostupné prostředky v ponorce připadá jako nejvhodnější řešení elektrický pohon. Uchopovací hlavice bude fungovat stejně jako obyčejné kombinační kleště. Bude obsahovat 2 kontaktní plochy konvexního tvaru, zajišťující tvarové držení předmětu. Pohyb kleštiny a zároveň silové držení zajistí servomotor. Výsledný pohyb kleštin bude radiálního smyslu. Celé chapadlo by bylo napevno umístěno pod předním kokpitem ponorky tak, aby byla hlavice viditelná vertikální kamerou a bylo tak možné vizuálně nastavit správnou pozici uchopení. Vlastní pohyb chapadla vůči ponorce není nutný, potřebné polohy hlavice lze dosáhnout pomocí manévrování s celou ponorkou .

5.4 Hloubkoměr

Znalost hloubky, ve které se ponorka nachází je nesporně jedním z nejdůležitějších údajů. Pokud by hloubka přesáhla hodnotu, do které je korpus ponorky dimenzován, došlo by zatopení ponorky a zničení veškeré elektroniky. Toto nebezpečí hrozí tam, kde neznáme předem maximální hloubku dna.

Pokud bude ponorka obsahovat zařízení, které umožní snímání hloubky ponoru a převod této hodnoty na elektrický signál, bude možné ponorku udržet v konstantní požadované hloubce. K tomu je nutné vytvořit regulátor, který by zajistil ustálení na požadované hodnotě ponoru. V praxi by nebylo třeba vyrábět elektroniku regulátoru, ale regulátor nahradit softwarovým algoritmem. Pomocí analogového vstupu karty K8055 by byla získávána hodnota z čidla tlaku, která by byla v momentě, kdy uživatel bude chtít udržovat konstantní hloubku, softwarově regulována. Výstupem regulátoru je

čerpadlo balastní nádrže, u kterého je v daném případě vyžadována co nejkratší odezva. V programu by bylo nutné nastavit určitou hysterezi tlaku a tím i rozsah, v jakém bude ponorka ve vertikálním směru kmitat okolo požadované hodnoty. Udržet naprosto konstantní hodnotu hloubky ponoru je prakticky nemožné. Tímto způsobem je dosaženo řešení, analogicky odpovídající proporcionálnímu regulátoru s velkým zesílením.

Jedním z možných způsobů měření vzdálenosti a tedy určování hloubky ponoru je využití ultrazvuku. Tato metoda se nazývá echolokace. Základem této metody je zdroj ultrazvukového signálu, který vyšle ultrazvukové vlnění. Pokud se toto vlnění střetne s překážkou, odrazí se zpět ke zdroji, kde je nutné mít přijímač tohoto signálu. Z doby mezi vysláním a příjmem signálu lze vypočítat vzdálenost překážky, od které došlo k odrazu. V praxi se používá zařízení, které umožňuje příjem i vysílání a mezi těmito režimy se při určité frekvenci přepíná. U ponorky by se jednalo o ultrazvukové zařízení, které by bylo umístěno na víku ponorky a vlny by vysílalo kolmo vzhůru. Tyto vlny by se odráželi od rozhraní voda-vzduch zpět k zařízení a tím by bylo možné určovat hloubku ponoru. Při požití echolokace v kapalině vzniká problém, způsobený znečištěním kapaliny drobnými plovajícími předměty, od kterých může dojít k odrazu ultrazvuku a tím k určení špatné hloubky ponoru [14].

Metodu echolokace je také možno pozorovat u delfínů a netopýrů.

Pro druhý způsob určení hloubky ponoru je možné využít senzor relativního tlaku. Hydrostatický tlak je přímo úměrný hloubce ponoru. Pokud je hodnota tlaku známá, není problém určit hloubku ponoru.

Konkrétně by bylo možné použít keramický senzor relativního tlaku DS-KE-D-R1B6, fungujícího na principu odporového můstku [15]. Tento senzor je dimenzovaný na měření statických nebo dynamických relativních tlaků v kapalinách nebo plynech. Dokáže měřit relativní tlak do hodnoty 1,6 bar. Z rovnice pro hydrostatický tlak lze vypočítat, že s tímto čidlem lze měřit v kapalině o hustotě 1000 kg/m^3 do hloubky 16 m viz. vzorec (6). Z datového listu bylo zjištěno, že přesnost tohoto senzoru je až $\pm 1,5 \%$ z plného rozsahu. Odchylka od přesné hodnoty tlaku může být až 0,024 bar a z této hodnoty plyne maximální odchylka hloubky ponoru, která činí až 24 cm viz vzorec (7).



$$h = \frac{P_h}{\rho * g} = \frac{160000}{1000 * 10} = 16m \quad (6)$$

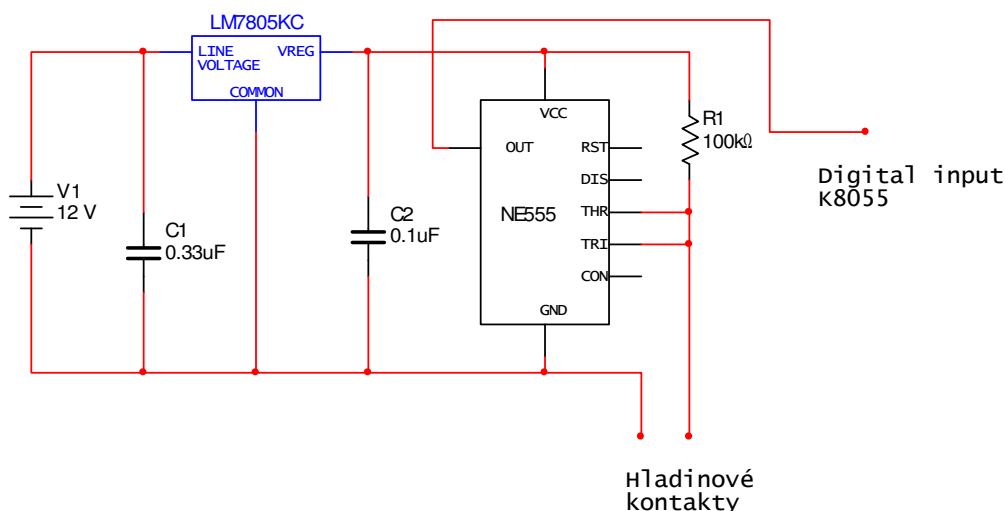
kde P_h je hydrostatický tlak
 g je gravitační konstanta
 ρ je hustota vody
 h je hloubka ponoru

$$\Delta h = \frac{\Delta P_h}{\rho * g} = \frac{2400}{1000 * 10} = 0,24m \quad (7)$$

Kde ΔP_h je tlaková odchylka čidla
 Δh je odchylka hloubky

5.5 Hladinové čidlo

Pomocí hladinového čidla jsme schopni určit v libovolném místě přítomnost vody. Tuto možnost lze využít uvnitř trupu ponorky a detekovat, zda nedochází k zaplavení. U balastní komory by bylo možné detekovat stav napuštěné vody. Pomocí jednoho čidla by se dekovala maximální horní hladina. Pokud voda dosáhne této úrovně, je nutné ukončit přičerpávání vody. V opačném případě by mohlo dojít k přetlakování balastní komory a k jejímu roztržení. Druhé čidlo by detekovalo minimální hodnotu hladiny. Pokud je z komory vyčerpávána voda pod minimální úrovní, dojde k vypouštění vzduchu z komory, což způsobí podtlak, který po odpojení čerpadla zpětně nasaje vodu. V takovém případě nastává nebezpečí, kdy čerpadlo nebude schopno díky vzniklému podtlaku odčerpat dostatečné množství vody a ponorka nebude schopna vyplout.



Obr. 17: Schéma zapojení hladinového čidla

Základním prvkem hladinového čidla je integrovaný obvod NE555 viz obr. 17. Tento obvod napájíme pomocí 5V stabilizátoru LM7805. Stabilizátor je nutný pro přechod na TTL logiku, ke které jsou uzpůsobeny digitální vstupy karty K8055. RS klopný obvod v NE555 ovládáme pomocí napěťových komparátorů THR a TRI. Pokud přesahuje napětí na THR $\frac{2}{3}$ napájecího napětí, dostáváme na výstupu log. L. Pokud klesne napětí na vstupu TRI pod $\frac{1}{3}$ napájecího napětí, dostaneme na výstupu log. H. Napětí na vstupech NE555 měníme právě pomocí hladinových kontaktů, mezi kterými se při ponoření do vody vytváří odpor a tím vzniká odporový dělič napájecího napětí. Pokud nejsou hladinové kontakty zaplaveny, je na vstupech napájecí napětí a na výstupu log. L. Pokud zaplavíme hladinové kontakty, na výstupu dostáváme log.H [16].

Pro správnou funkci je třeba zajistit, aby odpor mezi hladinovými kontakty dosáhl hodnoty menší než 50 kΩ viz. vzorec (10). Vodivost vody je závislá především na příměsích, které obsahuje. Destilovaná voda má téměř izolační vlastnosti s odporem okolo 2 MΩ. Běžná voda má však měrný odpor okolo 227 kΩ*m. Tedy pro funkci hladinového čidla je nutná maximální rozteč pro hladinové kontakty 22 cm viz. vzorec (8). Teoreticky by čidlo fungovalo i v destilované vodě při rozteči do 2,5 cm podle výpočtu (9) [17].

Hladinové čidlo bylo zapojeno na nepájivém poli a jeho funkčnost byla experimentálně ověřena.

$$l_{HK} = \frac{R_v}{\rho} = \frac{50}{227} = 0,22m \quad (8)$$

kde l_{HK} je vzdálenost mezi hladinovými kontakty
 R_v je odpor vody

$$l_{HK} = \frac{R_v}{\rho_{dv}} = \frac{50}{2000} = 0,025m \quad (9)$$

kde ρ_{dv} je hustota destilované vody

$$\frac{1}{3} * U_{cc} = U_{cc} * \frac{R_v}{R_v + R1} \Rightarrow R_v = \frac{R1}{2} \quad (10)$$

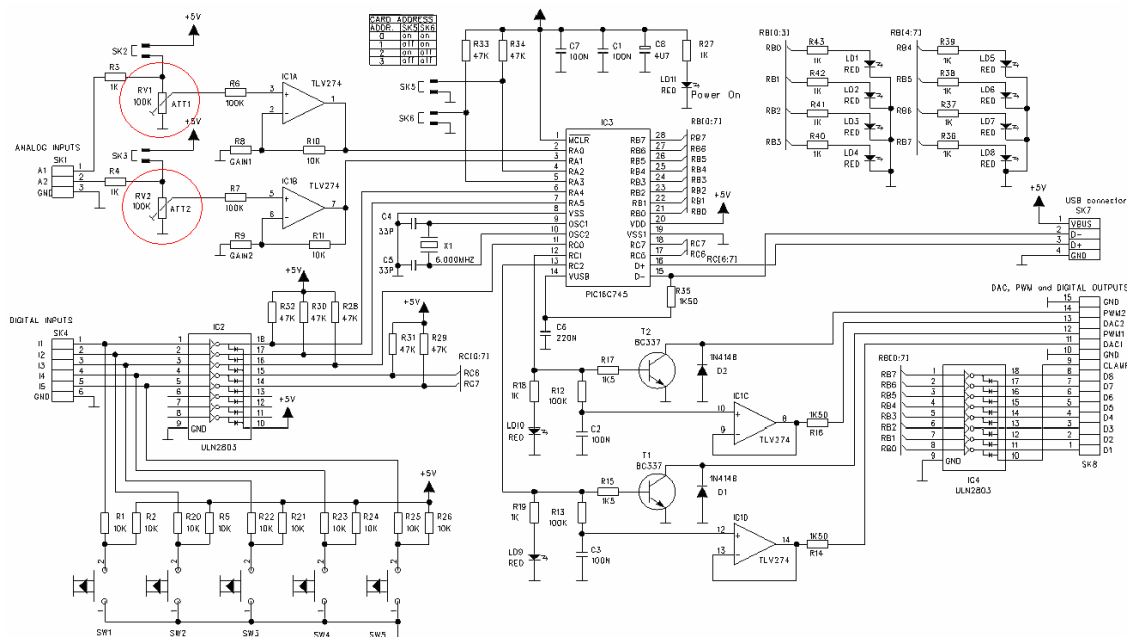
kde U_{cc} je napájecí napětí
 $R1$ je odpor rezistoru $R1$

5.6 Detekce stavu baterie

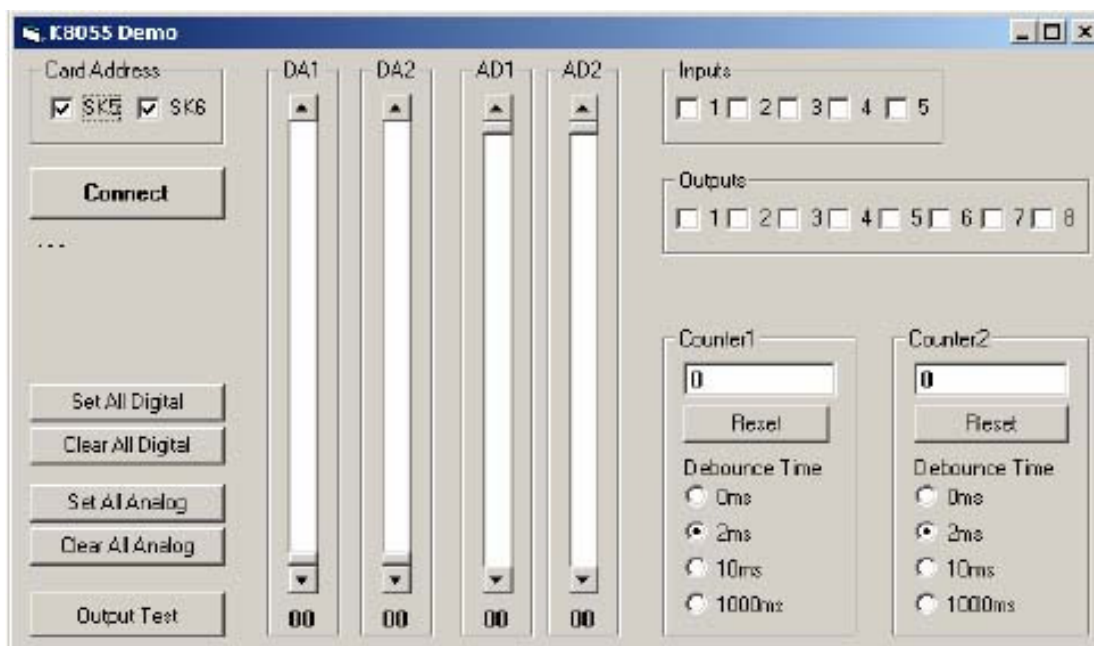
Pro detekci stavu baterií byly vymezeny 2 analogové vstupy karty K8055, které umožňují na řídicím PC sledovat aktuální hodnotu napětí na bateriích. Po odpojení svorek SK2 a SK3, což jsou svorky zajišťující propojení s testovacím napětím 5 V z desky, je možné na analogové vstupy A1 a A2 připojit napětí přímo z baterií. Toto napětí bylo testováním pomocí programu „K8055_demo.exe“ viz Obr. 18 a zeslabeno pomocí interních děličů RV1 a RV2 označených na obrázku č.17 červeným kroužkem tak, abychom dostali na rolovacích sloupcích AD1 a AD2 plnou hodnotu.

Pokud dojde k poklesu napětí na baterii, je to znamení, že baterie je vybitá. Tuto událost tedy můžeme indikovat a signalizovat pomocí ovládacího programu, což umožní informovat uživatele o vybití baterie.

Do budoucna by bylo vhodné implementovat detekci analogových vstupů i do ovládacího programu pro mini ponorku.



Obr. 18: Schéma zapojení karty K8055



Obr. 19: Nastavení citlivosti analogových vstupů K8055



5.7 Další vylepšení

Ponorka by dále mohla obsahovat teplotní čidlo, tvořené obyčejným NTC termistorem. Pomocí tohoto čidla bychom mohli sledovat aktuální teplotu v dané hloubce.

Průzkumné ponorky často dokáží odebírat vzorky vody. Prakticky bylo této schopnosti dosaženo pomocí balastní komory, ve které vždy zůstává při vynoření několik ml vody.



Závěr

Úkolem práce bylo vytvořit ponoru schopné plavidlo, dosahující výkonu a vlastností adekvátních průzkumných miniponorek.

Ponorka byla rozdělena na dvě tématické části, přesto však bylo nutné velmi úzce spolupracovat na vývoji konstrukce a elektroniky. Na ponorce pracoval dvoučlenný tým cca 200 hodin čistého času. Mimo korpusu byla veškerá elektronika a konstrukce vytvořena v domácích podmínkách.

Elektronika ponorky byla rozdělena do několika systémů, kde pro jednotlivé systémy byl vytvořen dle potřeby DPS. Systémy byly navrženy s ohledem na dostupnost použitých materiálů, cenu a efektivitu. Systémy vznikaly metodou, kdy nejprve byla vybrána nejefektivnější varianta řešení, která byla experimentálně otestována. Pokud test prokázal pozitivní výsledky, došlo na realizaci a instalaci do ponorky.

Dosažený stav ponorky předčil očekávání. V současné době je ponorka schopna pořizovat záběry a snímky pod vodní hladinou i za zhoršených světelných podmínek díky systému osvětlení. Snadné manévrování a ovladatelnost, připomínající řízení pásového vozidla, umožňuje dosažení libovolné pozice pod vodní hladinou.

Některé elektronické systémy bude možné v budoucnu vylepšovat a vybavit ponorku další elektronikou, umožňující např. odběr vzorků dna, měření hloubky ponoru, určení teploty vody apod.

Ponorka byla dosud testována v největší hloubce okolo 3m. Do této hloubky disponuje absolutní těsností. Na závěr byla ponorka opatřena reflexní žlutou korozi a vodě odolnou barvou.



Citace

- [1] *Quido magzím* [online]. 200? [cit. 2011-04-17]. Ponorka. Dostupné z WWW: <www.quido.cz/objevy/ponorka.htm>
- [2] *Seaplanet* [online]. 6/5/2009 [cit. 2011-04-17]. 11km pod hladinou - Mariánský příkop - Challenger Deep a Nereus. Dostupné z WWW: <www.seaplanet.eu/index.php/cs/ocean-a-moe/oceanografie/238-11km-pod-hladinou-mariansky-pikop-challenger-deep-a-nereus>.
- [3] *Nano werk* [online]. January 15, 2009 [cit. 2011-04-11]. Scientists develop a medical 'mini-submarine' to blast diseased cells in the body . Dostupné z WWW: <www.nanowerk.com/news/newsid=8908.php>.
- [4] *Ponorky* [online]. 200? [cit. 2011-04-18]. PONORKOVÝ POHON. Dostupné z WWW: <www.uboa.cz/tech/pohon/pohon.htm>
- [5] *AVCOMP* [online]. 200? [cit. 2011-05-17]. GENIUS EYE 110, USB, black (černá). Dostupné z WWW: <www.avcomp.cz/GENIUS-EYE-110_USB_black-erna-qca118654.htm>.
- [6] *Wikipedie* [online]. 19. 9. 2007 [cit. 2011-05-09]. LED. Dostupné z WWW: <www.cs.wikipedia.org/wiki/LED>.
- [7] *Profi elektronika.cz* [online]. 200? [cit. 2011-05-09]. LED. Dostupné z WWW: <www.profi-elektronika.cz/FotoCache/50/500x500/led-supersvetla-diody-3-mm-23-4000-mcd-slunecne-bila--122524.jpg>.
- [8] *RC revue* [online]. 10.9.2001 [cit. 2011-05-15]. Potichu a rychle, dolů - 2. díl. Dostupné z WWW: <www.uboa.cz/modely/rcrevue/dil2.htm>
- [9] *Gymnázium & SOŠPg Liberec Jeronýmova, příspěvková organizace* [online]. 11. 3. 2005 [cit. 2011-05-10]. Olověné akumulátory. Dostupné z WWW: <www.jergym.hiedu.cz/~canovm/elektro/clanky2/olov.pdf>
- [10] *Adam Nehudek* [online]. 2010 [cit. 2011-05-17]. Časovač 555. Dostupné z WWW: <www.nehudek.wz.cz/index2.php?id=13>.
- [11] *DANYK.WZ.CZ* [online]. 200? [cit. 2011-05-17]. Vysokofrekvenční zdroj vysokého napětí. Dostupné z WWW: <www.danyk.wz.cz/zdroj_vfe.html>
- [12] *ELEKTRO LUKIS* [online]. c2011 [cit. 2011-05-01]. Nabíječka Pb akumulátorů. Dostupné z WWW: <www.elektrolukis.estranky.cz/clanky/nabijecka-pb-akumulatoru.html>.
- [13] *100MEGA Liberec* [online]. 200? [cit. 2011-04-22]. GENIUS webkamera VideoCam eFace 2050AF, 2MB, HD, USB2.0. Dostupné z WWW: <www.e-shop.100megaliberec.cz/main.aspx?CLS=PRODUCT&PRO_ID=307015>



[14] *Wikipedie* [online]. 6. 4. 2006 [cit. 2011-05-02]. Echolokace. Dostupné z WWW:
<www.cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Echolokace&action=history>

[15] *CONRAD* [online]. 200? [cit. 2011-05-10]. Keramický senzor relativního tlaku DS-KE-D-R1B6. Dostupné z WWW: <www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/500000-524999/502099-da-01-en-KERAMISCHER_RELATIVDRUCKSENSOR_1_6_BAR.pdf>

[16] *SVOBODA* [online]. 200? [cit. 2011-04-18]. Voltík II. Dostupné z WWW:
<www.voltik.cz/fotky/voltik/v2/prirucka_v2.pdf>

[17] *Wikipedie* [online]. 200? [cit. 2011-05-01]. Rezistivita. Dostupné z WWW:
<www.francuski.powiat.pl/wikipedia/w/cs/Rezistivita>

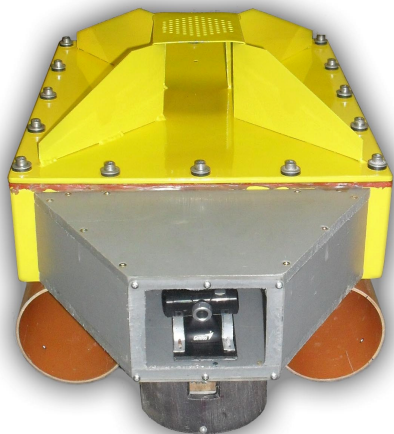
Přílohy



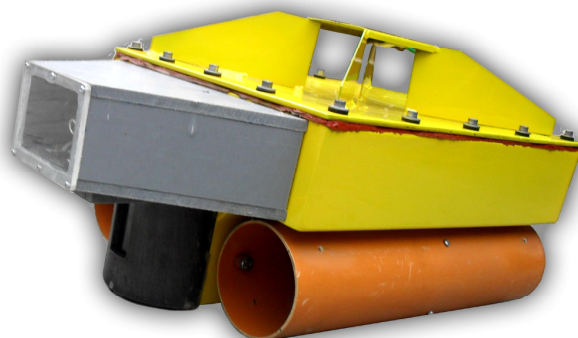
Obr. 20: Umístění balastní komory



Obr. 21: Elektronika ponorky



Obr. 22: Ponorka - pohled na před



Obr. 23: Ponorka – pohled z boku